

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:

Tomoo TAKAHARA et al.

Application No.: NEW

Group Art Unit: Not Yet Assigned

Filed: February 25, 2004

Examiner: Not Yet Assigned

For: CHROMATIC DISPERSION COMPENSATION CONTROLLING SYSTEM

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents  
PO Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2003-95715

Filed: March 31, 2003

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: February 25, 2004

By: 

J. Randall Beckers  
Registration No. 30,358

1201 New York Ave, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20005  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: March 31, 2003 .

Application Number: Patent Application  
No. 2003-095715  
[ST.10/C]: [JP2003-095715]

Applicant(s): FUJITSU LIMITED .

November 20, 2003

Commissioner,  
Japan Patent Office      Yasuo IMAI

Certificate No. P2003-3096198

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   3 月 3 1 日  
Date of Application:

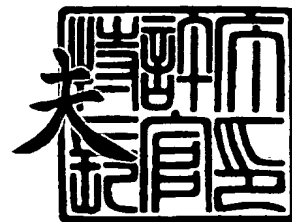
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 9 5 7 1 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 0 9 5 7 1 5 ]

出   願   人            富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号   出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 6 1 9 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 0253134

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03B 10/18

【発明の名称】 波長分散補償制御システム

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 高原 智夫

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 石川 丈二

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100074099

    【住所又は居所】 東京都千代田区二番町 8 番地 2 0 二番町ビル 3 F

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 大菅 義之

    【電話番号】 03-3238-0031

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7-25-28-503

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長分散補償制御システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号が伝送路を伝搬することによって受ける波長分散を補償するための波長分散補償制御システムであって、

受信信号のピーク値を検出するピーク検出手段と、

該ピーク値を所定の閾値と比較することにより、光信号を受けている波長分散が正の方向に過剰か、負の方向に過剰かを判断し、可変波長分散補償器に対する制御信号を与える制御手段と、

を備えることを特徴とする波長分散補償制御システム。

【請求項 2】 更に、受信信号の伝送品質情報を検出する伝送品質検出手段を備え、

前記制御手段は、ピーク値の検出により得た過剰波長分散の正負と、該伝送品質情報より得た補償すべき波長分散量の絶対値とを用いて、前記可変波長分散器に制御信号を与えることを特徴とする請求項 1 に記載の波長分散補償制御システム。

【請求項 3】 前記制御手段は、最適波長分散補償値の変動量に対して閾値を設定し、観測された変動量が閾値以下の場合には、山登り法あるいはディザリング法により高精度の波長分散補償制御を行い、変動量が該閾値以上の場合には、ピーク値から得られた残留波長分散の正負と補償すべき波長分散量の絶対値とから高速な波長分散制御を行うことを特徴とする請求項 2 に記載の波長分散補償制御システム。

【請求項 4】 前記ピーク検出手段は、データ、識別閾値、及びタイミングが調整されたクロックとを入力し、データ値と識別閾値との比較結果を保持し、出力する D フリップフロップからなることを特徴とする請求項 1 に記載の波長分散補償制御システム。

【請求項 5】 光信号が伝送路を伝搬することによって受ける波長分散を補償するための波長分散補償制御方法であって、

受信信号のピーク値を検出するピーク検出ステップと、

該ピーク値を所定の閾値と比較することにより、光信号を受けている波長分散が正の方向に過剰か、負の方向に過剰かを判断し、可変波長分散補償器に対する制御信号を与える制御ステップと、  
を備えることを特徴とする波長分散補償制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システムにおける波長分散補償制御システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

今日、通信トラフィックの増加に伴い、より多くの情報を伝送できる通信システムの開発が盛んに行われている。特に、光通信システムにおいては、複数の波長を一度に送信する波長分割多重方式が実現されている。現在の波長分割多重方式における1波当たりの通信速度は、10Gb/sが典型的である。しかし、更なる通信容量の増大をねらって、1波当たりの通信速度を40Gb/sにしようとする試みがなされている。このように、1波当たりの通信速度が40Gb/sの波長分割多重光通信システムを実現しようとする、従来よりもより厳しく波長分散の管理を行わなければならないことが明らかにされてきた。

【0003】

これまで、誤り率、Q値などの伝送品質情報を用いて可変分散補償器のフィードバック制御を行う方法が提案されてきた。特に、誤り率に類似する情報を用いる手法は、コスト面で優れる方法と考えられている。

【0004】

図22に従来構成の一例として、誤り率を波長分散モニタとして用いる構成を示し、図23に動作を説明するための図を示す。

図22の従来の波長分散補償制御システムにおいては、送信器10から送信された光信号は、伝送路11を伝搬し、光アンプ12によって増幅されて、可変分散補償器13に入力される。可変分散補償器13で波長分散補償がされて、光信号は、光／電気変換器14によって電気信号に変換され、受信機15によって受

信される。受信機 15 では、受信信号の誤り率もしくは、それに類似する情報を算出し、可変分散補償器 13 の制御回路 16 に送信する。制御回路 16 は、この誤り率もしくはそれに類似する情報を元に、可変分散補償器 13 の分散補償量などを制御する。ここで、受信機 15 の誤り情報の検出機能が波長分散モニタの役割を果たす。

#### 【0005】

従来の波長分散モニタは何らかの条件変化により波長分散変化が発生した場合に、波長分散補償量が過剰となったのか不足したのか識別する手段がないため、ディザリング法もしくは山登り法などのアルゴリズムにより最適点探索を行っていた。ディザリング法については、特許文献 1 を、山登り法については、非特許文献 1 を参照されたい。

#### 【0006】

例えば、図 23 の開始点（○：点 2）から山登り法により最適点探索を行う場合、次の補償量として、点 1、点 3 のいずれを選択したらよいかの判断の方法がない。そのため、点 1 を選択した結果ペナルティが大きくなる可能性がある。従って、誤り率を減少する処理は、この点 1 の誤り率が大きくなることを判断した上で、点 3 を新たに選択し直し、徐々に最適点を探索することになる。

#### 【0007】

次に、波長分散補償量を最適化するまでに要する時間は、可変波長分散補償器の波長分散補償量の可変量（図 24 では可変単位）を大きくするほど、短くなる。しかし、可変単位を大きくした場合、波長分散補償量の過不足を誤った際に生じるペナルティも大きくなってしまう。従って、高精度に波長分散を補償するために、従来では、可変単位を小さく設定していた。このため、従来技術では、低速の（つまり変化幅の小さな）変動に対し高精度に追随することが利点であったが、高速の（つまりは変化幅の大きな）変動に対し高速に追随する用法には向かない。

#### 【0008】

波長分散補償器を高速制御が必要とされる状況とその際に要求される速度を考える。ここでは、①経路または波長切り替えに伴う伝送路の波長分散値の変化と



②高次PMD (Polarization Mode Dispersion) の変化に伴うPCD (Polarization Dependent Chromatic Dispersion) の変化による伝送路波長分散値変化の二つのケースについて考える。①の場合、一般的には、プロテクション・タイム50msecが制御に対して要求される速さの目安となる。つまり、  
 障害発生→障害検知→障害通知(=Tp≒20msec)→経路切り替え(=Ts≒数msec)→主信号伝搬遅延(=Td)→復旧完了  
 となり、 $T_p + T_s + T_d < 50 \text{ msec}$ である必要がある。このように、主信号伝搬遅延(Td)に割り当てられる時間は20～30msecであり、ここにEDFAの制御時間などと共に可変波長分散補償器の制御時間も含める必要があることから、許容される制御時間は、これを実現できる制御速度が要求される最大でも～20msec程度となる。②については、システムの制限はないから、結局制御に係る時間は最大でも～20msecとする必要がある。

#### 【0009】

次に、可変波長分散補償器に要求される波長分散補償量の可変範囲を考える。自動波長分散補償システムには伝送路波長分散の経時変動補償の役割もあるが、経時変動の主因は敷設環境温度変化であり変動速度が遅いため、ここでは考えない。

#### ①経路または波長切り替えに伴う伝送路の波長分散値の変化

スパンごとにDCF (Dispersion Compensation Fiber) を用いて波長分散補償を行い、可変波長分散補償器は受信端で分散スロープの影響を補償することを主目的とする。システムの前提を

1スパン	100km
分散スロープ	$0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$
使用する波長幅	35nm

とし、分散スロープの影響が20%残るものとする、可変波長分散補償器が対応すべき波長分散値の変動幅Dvは最大で

$$D_v = 0.2 \times 0.08 \times 35 \times 100 = 56 \text{ ps/nm}$$

となる。

#### ②高次PMDの変化に伴うPCDの変化による伝送路波長分散値変化について考

える。

#### 【0010】

P C Dの変化は、高次PMDの成分のひとつであるP C Dが入力偏波に応じて変化するために、伝送路の波長分散値が変化する現象である。ファイバタッチ（光ファイバに手で触ったり、風が吹き付けるなどにより応力が係ること）などにより高速に変化することが考えられ、この変動の速さは一般にK H zの速さであり、数m s e cの速さでの補償が必要とされる。

#### 【0011】

図24に全平均PMD=8 p s（すなわち0.33 p s /  $\sqrt{\text{km}}$ ）、100 k m  $\times$  6 スパンのシステムでの最適分散量の変化の実験結果を示す（#1～#7は異なる偏波状態を示す）。このように、入力偏波の変動により最大50 p s / n mの最適波長分散補償量の変化が観測された。既設S M F（Single Mode Fibe r）のPMDの典型的な値は0.2 p s /  $\sqrt{\text{km}}$ であり、高次PMDの影響は一次PMDの影響が大きいほど大きくなることが報告されており（非特許文献2参照）、一般のシステムにおけるP C Dの影響は最大50 p s / n m程度と考えられる。

#### 【0012】

##### 【特許文献1】

特開 2002-33701号公報

##### 【非特許文献1】

長岡真：岩波講座ソフトウェア科学14「知識と推論」、岩波書店、1988、114～120ページ。

##### 【非特許文献2】

G. Shtengel, E. Ibragimov, M. Rivera, S. suh, "Statistical dependence between first and second-order PMD", Mo3, OCF2001

#### 【0013】

##### 【発明が解決しようとする課題】

以上より

制御速度に対する要求：～数m s e c以下

制御範囲に対する要求： $\sim 60 \text{ ps/nm}$

更に、波長分散補償器の許容ペナルティを  $0.5 \text{ dB}$  とし、図 24 に示す波長分散トレランス特性を持つシステムを想定すると、

調整精度： $\pm 10 \text{ ps/nm}$   
と規定される。

#### 【0014】

また、制御方法も山登り法のように波長分散補償量の増減を繰り返すことによる最適化ではなく、波長分散増減の別、さらには、その量を概算することが可能な波長分散モニタを持ち、波長分散変動の発生時に瞬時に波長分散補償量を制御できる機能が必須である。

#### 【0015】

本発明の課題は、高速に波長分散量を制御できる波長分散制御システムを提供することである。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の波長分散補償制御システムは、光信号が伝送路を伝搬することによって受ける波長分散を補償するための波長分散補償制御システムであって、受信信号のピーク値を検出するピーク検出手段と、該ピーク値を所定の閾値と比較することにより、光信号を受けている波長分散が正の方向に過剰か、負の方向に過剰かを判断し、可変波長分散補償器に対する制御信号を与える制御手段とを備えることを特徴とする。

#### 【0017】

本発明によれば、受信光信号が受けている過剰な波長分散の符号が正か負かが高速に検出可能であるので、高速に変化する波長分散の影響を、これに追従して補償することが出来る。

#### 【0018】

##### 【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の実施形態に従った波長分散補償制御システムの基本構成を示す図である。

## 【0019】

送信器10から送信された光信号は、伝送路11を伝搬し、可変分散補償器13に入力される。ここで、分散補償され、光／電気変換器14において、電気信号に変換される。変換された電気信号は、波長分散変動符号モニタ21に入力されると共に、受信機15にも入力される。受信機15で信号を受信後に、波長分散変動量モニタ20が波長分散の変動量を検出する。制御部16には、波長分散変動符号モニタ21からの波長分散変動の方向を示す符号が入力されると共に、波長分散変動量モニタ20から波長分散変動量が入力される。制御部は、これらを元に、可変分散補償器13を制御して、最適な波長分散補償量となるように設定する。

## 【0020】

本発明の実施形態においては、可変分散補償と必要に応じてDCFなどの分散補償量固定の補償器を併用する。また、送信端、可変分散補償器の前などに必要に応じて光リンプを用いる。

## 【0021】

本発明の実施形態においては、誤り率など伝送路品質の変動により波長分散値の変動量の絶対値をモニタする、波長分散変動量モニタと波長分散変動符号モニタを組み合わせることにより、伝送路波長分散の変動が発生した際に、増減の別及びその量を検出し、可変波長分散補償器の高速な制御を可能にするものである。

## 【0022】

図2は、本発明の実施形態による波長分散変動符号モニタの基本的な原理を説明する図である。

なお、図2は、残留波長分散が変化したときの波形の変化を示すアイダイアグラムであり、同図においては、矢印で示した部分の信号レベルは同じレベルである。図2は $\alpha = 1$ （チャープングパラメータ $\alpha$ が正）の40Gb/s NRZ変調方式で、残留分散値が $\pm 50$ ps/nm変化した場合の受信波形シミュレーション結果である。このように、残留分散値が減少し、波形圧縮が拡大した場合、本来のHighレベルを超えたオーバーシュートが大きくなり、波形広がりが発生

した場合は、逆に小さくなる。従って、この変化つまり、波形のピーク値の検出により、波長分散値の増減の別を検出することが可能である。すなわち、チャープングパラメータを正に設定しておくことにより、波形のピーク値を見ることによって、残留波長分散値の増減の別を知ることが出来る。

#### 【0023】

図3に本発明の実施形態の要部の基本構成を示し、図4に受信部の構成を示す。

図2のシミュレーションは、図3に示すようにPD（光／電気変換器14）の前に光増幅器25を配置し、出力パワー一定制御（ALC制御）を行っている。その結果、High/Lowレベルは安定し、図2の例では、いずれの残留波長分散値でもおおむねHighレベル＝760 $\mu$ （a. u.）、Lowレベル＝0（a. u.）となっている。一方で、ピーク電圧は、

残留波長分散量－80 ps/nmの場合： 1150 $\mu$ （a. u.）

残留波長分散量－30 ps/nmの場合： 980 $\mu$ （a. u.）

残留波長分散量＋20 ps/nmの場合： 900 $\mu$ （a. u.）

となり、残留波長分散量＝－30 ps/nmの場合を基準に考えると、ピーク電位の増加した場合には残留波長分散量の減少が発生していることを、また、逆に減少した場合には残留波長分散量の増加を検知することができる。

#### 【0024】

そこで、図4の受信部の構成においては、可変分散補償器13の出力は、PD14によって、電気信号に変換され、プリアンプ25によって増幅され、ピーク検出回路28とイコライザー26に入力される。イコライザー26の出力は、クロックとデータを復元するクロック及びデータ復元部27に入力され、データ復元が行われて、後段の信号処理に進む。ピーク検出回路28では、信号のピークを検出し、ピークの大きさに従って、制御回路16にピーク値を通知する。制御回路16は、ピーク値に基づいて、残留分散が増加したか、減少したかを判断し、可変分散補償器13を制御して、分散補償量を最適化する。

#### 【0025】

図5は、本発明の実施形態に従った受信部の別の構成例である。

図5においては、プリアンプ25の出力にピーク検出回路28を配置する構成を示している。このようにしても、受信信号波形を取得できるので、ピーク検出は可能であり、従って、制御回路に、残留分散の増減の別を知らせることが出来る。

#### 【0026】

図6は、本発明の実施形態に従った受信部の更に別の構成例である。

図6に示すように、イコライザにおいては信号の増幅により信号の上下限がリミッタ電圧により制限されるようになるが、このようになる前の線形動作範囲で十分に受信波形情報が残余している場所であれば、ピーク検出回路の受信器内での配置場所は問わない。

#### 【0027】

図7は、本発明の実施形態に従った更に別の構成例を示し、図8に43.02 Gb/s NRZ変調方式で各受信OSNRについて可変波長分散補償器を用いて波長分散トレランスを測定した例を示し、図9に、縦軸をQ値に換算した図8に対応する図を示す。

#### 【0028】

図7では、ピーク検出回路28と、誤り率情報を算出するFEC部30が受信機15に含まれている。FEC (Forward Error Correction) は、誤り訂正符号を用いた誤り訂正ブロックであり、この機能を実現したFEC-ICは、一般的に、誤り訂正数など誤り率に準じた情報を算出する機能を有する。ピーク検出回路28によって検出されたピーク値と、FEC部30で検出された誤り率情報がモニタ回路31に入力され、不図示の可変分散補償器への制御信号を生成するために使用される。

#### 【0029】

図8、9から明らかなように、OSNRが変化した場合でも、波長分散トレランス曲線の形状に変化は見られず、最適点からの誤り率の変動量(Q値ペナルティの大きさ)により、最適波長分散値の変動量を同様の仕方で算出することが可能であることが分かる。すなわち、波長分散トレランス曲線の形状が変化すると、OSNRの変化に伴い、同じ誤り率の変動量であっても、可変すべき分散補償

量が異なってしまうが、今の場合、このようなことは起きていないということが分かる。波長分散トレランス曲線は、例えば、システムの初期設定時に可変分散補償器の波長分散可変範囲を掃引することにより取得可能であり、伝送路波長分散値の変動が発生し、伝送品質変化が発生した場合は発生したペナルティから変動量を算出することが可能であることがわかる。

#### 【0030】

図7の構成例はFECを用いたシステムを想定しており、FEC部30で検出される誤り率情報を用いているが、SONET/SDHのB1バイト等伝送品質に関する情報であれば波長分散モニタとして利用可能である。

#### 【0031】

図10及び図11に本発明の実施形態に従った更に別の構成例を示す。

図10はFECを用いたシステムで、FEC部30により検出される誤り率情報を用いており、図11は、SONET/SDHのB1バイトを用いる場合を示している。図11では、受信機15がSONET/SDHのオーバーヘッドを処理し、B1バイトの情報を取り出し、これを制御部16に送るようになっている。この他にも、Q値など伝送品質に関する情報であれば波長分散モニタとして利用可能である。

#### 【0032】

図12及び図13に本発明の実施形態に従った基本動作のフローチャートを示す。

図12は最適波長分散補償量の変動量を検出する手段として、誤り率を用いた場合を示し、図13は、本発明の実施形態に従ったピーク電圧を用いた場合を示す。

#### 【0033】

例えば、伝送路敷設環境温度の変動に伴う伝送路波長分散値の変動は、単位時間当たりの変化は小さく、従来提案されているような手法により、高精度に波長分散制御を行うことが望ましい。従って、図12に示される処理を行う。

#### 【0034】

高次PMDの影響による最適波長分散補償量の変動等は、単位時間当たりの急

激な変化に対し、高速に追従する必要がある。従って、図13に示される処理を行う。

#### 【0035】

図8及び図9に示した波長分散トレランス特性に明確なように、単位時間内に最適波長分散補償量の急激な変化が発生した場合、誤り率など伝送品質の劣化は大きくなる。そのため、単位時間あたりの誤り率など伝送品質の変動量を用いて最適波長分散補償量の変動幅の大小を検出することが可能である。

#### 【0036】

従って、単位時間当たりの波長分散値の変動量が、一定の閾値以下の場合には、山登り法などの手法により、高精度な最適値探索を行い、一定の閾値を超えた場合には、上記に説明したようにピーク値変動の大小により、最適波長分散補償量の変動量の増減を検出し、初期設定時に取得した分散トレランス特性と、検出されたペナルティから波長分散補償量のずれ幅を算出、設定することにより、最適分散補償量に高速に制御し、許容ペナルティ以下に抑圧した後、通常の高精度制御モードに移行する。

#### 【0037】

まず、図12において、ステップS10では、初期設定を行う。すなわち、ペナルティ閾値として $P_{th}$ を設定する。ステップS11では、最適補償量を設定する。ステップS12において、誤り率を測定し、ステップS13において、基準誤り率 $BER_s$ を設定し、ステップS14において、ピーク電圧を測定する。ステップS15においては、基準ピーク電圧を設定し、ステップS16において、待ち時間 $T_1$ だけ待機し、ステップS17において、誤り率 $BER_1$ を測定する。ステップS18では、ペナルティが $P_{th}$ より小さいか否かを判断する。ここで、ペナルティは、例えば、 $BER_s$ を与えるQ値を $Q_s$ とし、 $BER_1$ を当てるQ値を $Q_1$ とすると、ペナルティ $=Q_s - Q_1$ で与えられる。

#### 【0038】

ステップS18の判断がYESの場合には、ステップS19において、通常モードの最適値探索を行う。この通常モードは、従来技術で説明した山登り法やデイズリング法を用いた最適値探索法を用いるモードである。ステップS19の処



理が終わると、ステップS11に戻る。ステップS18の判断が、NOの場合には、ステップS20に進み、ピーク電圧測定を行い、ステップS21において、変動増減識別を行い、ステップS22において、変動量算出を行う。すなわち、補償量の算出を行う。ステップS23においては、補償量を設定し、ステップS17に戻る。

#### 【0039】

図13においては、ステップS30において、初期設定を行う。すなわち、可変波長分散補償器の一部または全ての補償範囲を掃引し、最適補償量探索を行うと共に、図8あるいは図9のような波長分散トレランス特性を取得する。そして、ピーク電圧閾値差を、圧縮側を $V_{th1}$ 、広がり側を $V_{th2}$ と設定する。ステップS31においては、最適補償量を設定し、ステップS32においては、誤り率を測定し、ステップS33において、基準誤り率 $BER_s$ を設定する。そして、ステップS34において、ピーク電圧を測定し、ステップS35において、基準ピーク電圧 $P_{st}$ を設定する。そして、ステップS36において、待ち時間 $T1$ だけ待機し、ステップS37において、ピーク電圧 $P_m$ を測定する。ステップS38では、 $P_m - P_{st}$ が $V_{th1}$ より小さいか、あるいは、 $P_m - P_{st}$ が $V_{th2}$ より大きいかな否かを判断する。

#### 【0040】

ステップS38の判断がYESの場合には、ステップS39に進み、通常モードの最適値探索（従来技術）を行い、ステップS31に戻る。ステップS38の判断がNOの場合には、ステップS40において、変動増減識別を行い、ステップS41において、誤り率 $BER_1$ を測定し、ステップS42においては、変動量算出（補償量算出）を行う。そして、ステップS43において、補償量設定を行い、ステップS44において、通常モード最適値探索を行い、ステップS31に戻る。

#### 【0041】

図14は、ピーク検出回路の一構成例を示す図である。

ここでは、Dフリップフロップを使用する。Dフリップフロップには、データと識別閾値と、遅延回路によってタイミング調整されたクロックが入力される。

Dフリップフロップは、クロックのタイミングに従って、データ値を識別閾値と比較した値を保持し、出力する。積分回路では、Dフリップフロップの出力値を積分し、平均値を出力する。

#### 【0042】

図15及び図16は、本発明の別の実施形態を示す図である。

図15においては、平均出力パワーモニタ35が設けられている。前述の実施形態においては、光アンプ25をALC制御することによって、光信号のHighレベルの出力パワーを一定に保っていた。これにより、光信号のピークを検出し、予め定められた閾値と比較することにより、残留分散値の増減の別が分かるようになっている。この実施形態においては、受信光信号の変調方式、マーク率、デューティなどに変化がないとして、光増幅器出力の平均値をモニタし、変化に合わせて閾値を制御することにより、光増幅器をALC制御する場合と同様の残留分散の増減の別の判断が行える。

#### 【0043】

まず、初期設定時(図16(b))において、平均出力を基準値とする。次に、平均出力が $1/2$ になった場合(図16(a))、識別閾値も平均出力変化に比例して $1/2$ とし、図16の場合、 $2.25 \times 10^{-3} \text{ a.u.}$ と設定する。平均出力が2倍になった場合には(図16(c))、識別閾値も平均出力変化に比例して2倍にし、 $9.0 \times 10^{-3} \text{ a.u.}$ と設定する。このようにして設定された識別閾値を用いて、波長分散変動符号モニタ21が残留分散の変動の方向を判断する。

#### 【0044】

図17～図21は、本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図である。

図17のシミュレーションモデルを用い、光増幅器NF、帯域制限フィルタの透過帯域をパラメータとして、ピーク電圧の波長分散値変動に伴う変化を $\alpha = 1$ について算出した結果を、図18及び図19に示す。図18は、帯域制限フィルタの透過帯域を30GHzとし、NF(Noise Figure)が0dBと30dBについて、残留波長分散値とピーク電圧の関係を示したグラフである。図19は、

光増幅器のNFを30dBとし、帯域制限フィルタの透過帯域が30GHzと40GHzについて、残留波長分散値とピーク電圧の関係を示したグラフである。

#### 【0045】

図18及び図19のように、OSNR、フィルタ帯域によらず、ペナルティの最も小さくなる $\sim 40 \text{ ps/nm}$ 近傍を除いて、波長分散値の大きな変動が発生した場合には、ピーク電圧の増減を用いて波長分散値の増減を検出することが可能であることが分かる。

#### 【0046】

図20に各波長分散値でのシミュレーション波形を示す。各波形（それぞれ、128bit）について0.0045（a. u.）を閾値とした場合の平均値出力は、

$$-100 \text{ ps/nm} = 0.198 \text{ (a. u.)}$$

$$-50 \text{ ps/nm} = 0.119 \text{ (a. u.)}$$

$$0 \text{ ps/nm} = 0 \text{ (a. u.)}$$

となり、平均値の比較により、伝送路波長分散の増減が識別できることが分かる。

#### 【0047】

図21に閾値が、0.0042（a. u.） $\sim$ 0.0045（a. u.）の場合の平均値出力グラフを示す。

本発明の実施形態の波長分散変動符号モニタは変動の符号識別を目的としているため、閾値を0.0042とした場合、最適分散補償量である $\sim 40 \text{ ps/nm}$ から逸脱した際に、出力平均値に差が無く、モニタとして機能しない。0.0043 $\sim$ 0.0045では分散値が減少した場合に平均値出力が明らかに増加しており、平均値出力の増加の有無により伝送路分散の別が検出できることが分かる。特に、閾値0.0044の場合、最適分散補償量である $-40 \text{ ps/nm}$ から $\pm 10 \text{ ps/nm}$ の変化平均値出力の変化が大きく、今回の条件では最も望ましい設定である。

#### 【0048】

図10あるいは図11に示すような誤り率を波長分散モニタとして用いるシス

テムで、 $OSNR = 22\text{ dB}$ で、波長分散トレランス特性が図8あるいは図9の場合を例として考える。

#### 【0049】

単位時間当たり伝送路波長分散が閾値以下の通常動作状態では、ディザリング、山登り法等最適点探索アルゴリズムにより、高精度に最適波長分散補償量を追従制御する。閾値は、例えば $\pm 10\text{ ps/nm}$ を設定する。図10あるいは図11の例では約 $-30\text{ ps/nm}$ の波長分散補償量に制御され $3.5 \times 10^{-8}$ の誤り率となる。ここで、伝送路の波長分散値が何らかの理由により変化し、波長分散モニタとして測定されている誤り率が急速に $1.0 \times 10^{-8}$ に変化した場合、本発明の実施形態の波長分散変動符号モニタを用いた制御速度を優先した制御となる。初期設定時に取得した図8の特性を用い、誤り率の変動量より伝送路波長分散値が $+15\text{ ps/nm}$ または $-15\text{ ps/nm}$ 変化したことが算出できる。更に、ピーク検出回路の情報より増減の別が識別できるため、1回の動作で波長分散補償値の許容ペナルティ（トレランス）内への引き込みが行われる。

（付記1）光信号が伝送路を伝搬することによって受ける波長分散を補償するための波長分散補償制御システムであって、

受信信号のピーク値を検出するピーク検出手段と、

該ピーク値を所定の閾値と比較することにより、光信号を受けている波長分散が正の方向に過剰か、負の方向に過剰かを判断し、可変波長分散補償器に対する制御信号を与える制御手段と、

を備えることを特徴とする波長分散補償制御システム。

#### 【0050】

（付記2）更に、受信信号の伝送品質情報を検出する伝送品質検出手段を備え、

前記制御手段は、ピーク値の検出により得た過剰波長分散の正負と、該伝送品質情報より得た補償すべき波長分散量の絶対値とを用いて、前記可変波長分散器に制御信号を与えることを特徴とする付記1に記載の波長分散補償制御システム。

**【0051】**

(付記3) 前記制御手段は、最適波長分散補償値の変動量に対して閾値を設定し、観測された変動量が閾値以下の場合には、山登り法あるいはディザリング法により高精度の波長分散補償制御を行い、変動量が該閾値以上の場合には、ピーク値から得られた残留波長分散の正負と補償すべき波長分散量の絶対値とから高速な波長分散制御を行うことを行うことを特徴とする付記2に記載の波長分散補償制御システム。

**【0052】**

(付記4) 前記伝送品質検出手段は、FEC機能を利用して、受信信号の誤り率を検出することを特徴とする付記2に記載の波長分散補償制御システム。

(付記5) 前記伝送品質検出手段は、受信信号がSONET/SDHの信号である場合、オーバーヘッドのB1バイトを使用して、受信信号の誤り率を検出することを特徴とする付記2に記載の波長分散補償制御システム。

**【0053】**

(付記6) 前記ピーク検出手段は、データ、識別閾値、及びタイミングが調整されたクロックとを入力し、データ値と識別閾値との比較結果を保持し、出力するDフリップフロップからなることを特徴とする付記1に記載の波長分散補償制御システム。

**【0054】**

(付記7) 光信号が伝送路を伝搬することによって受ける波長分散を補償するための波長分散補償制御方法であって、

受信信号のピーク値を検出するピーク検出ステップと、

該ピーク値を所定の閾値と比較することにより、光信号を受けている波長分散が正の方向に過剰か、負の方向に過剰かを判断し、可変波長分散補償器に対する制御信号を与える制御ステップと、

を備えることを特徴とする波長分散補償制御方法。

**【0055】**

(付記8) 更に、受信信号の伝送品質情報を検出する伝送品質検出ステップを備え、

前記制御ステップは、ピーク値の検出により得た過剰波長分散の正負と、該伝送品質情報より得た補償すべき波長分散量の絶対値とを用いて、前記可変波長分散器に制御信号を与えることを特徴とする付記 7 に記載の波長分散補償制御方法。

#### 【0056】

(付記 9) 前記制御ステップは、最適波長分散補償値の変動量に対して閾値を設定し、観測された変動量が閾値以下の場合には、山登り法あるいはディザリング法により高精度の波長分散補償制御を行い、変動量が該閾値以上の場合には、ピーク値から得られた残留波長分散の正負と補償すべき波長分散量の絶対値とから高速な波長分散制御を行うことを特徴とする付記 8 に記載の波長分散補償制御方法。

#### 【0057】

(付記 10) 前記伝送品質検出ステップは、FEC 機能を利用して、受信信号の誤り率を検出することを特徴とする付記 8 に記載の波長分散補償制御方法。

(付記 11) 前記伝送品質検出ステップは、受信信号が SONET/SDH の信号である場合、オーバーヘッドの B1 バイトを使用して、受信信号の誤り率を検出することを特徴とする付記 8 に記載の波長分散補償制御方法。

#### 【0058】

(付記 12) 前記ピーク検出ステップは、データ、識別閾値、及びタイミングが調整されたクロックとを入力し、データ値と識別閾値との比較結果を保持し、出力する D フリップフロップを用いることを特徴とする付記 7 に記載の波長分散補償制御方法。

#### 【0059】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、高速に変化する波長分散に追従して分散補償することが出来る波長分散補償制御システムを提供することが出来る。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の実施形態に従った波長分散補償制御システムの基本構成を示す図であ

る。

【図 2】

本発明の実施形態による波長分散変動符号モニタの基本的な原理を説明する図である。

【図 3】

本発明の実施形態の要部の基本構成を示す図である。

【図 4】

本発明の実施形態に従った受信部の構成を示す図である。

【図 5】

本発明の実施形態に従った受信部の別の構成例である。

【図 6】

本発明の実施形態に従った受信部の更に別の構成例である。

【図 7】

本発明の実施形態に従った更に別の構成例を示す図である。

【図 8】

4.3.02 Gb/s NRZ 変調方式で各受信 OSNR について可変波長分散補償器を用いて波長分散トレランスを測定した例を示す図である。

【図 9】

縦軸を Q 値に換算した図 8 に対応する図である。

【図 10】

本発明の実施形態に従った更に別の構成例（その 1）を示す図である。

【図 11】

本発明の実施形態に従った更に別の構成例（その 2）を示す図である。

【図 12】

本発明の実施形態に従った基本動作のフローチャート（その 1）である。

【図 13】

本発明の実施形態に従った基本動作のフローチャート（その 2）である。

【図 14】

ピーク検出回路の一構成例を示す図である。

**【図 15】**

本発明の別の実施形態を示す図（その 1）である。

**【図 16】**

本発明の別の実施形態を示す図（その 2）である。

**【図 17】**

本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図（その 1）である。

**【図 18】**

本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図（その 2）である。

**【図 19】**

本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図（その 3）である。

**【図 20】**

本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図（その 4）である。

**【図 21】**

本発明の実施形態の有効性を確認するシミュレーションについて説明する図（その 5）である。

**【図 22】**

従来の誤り率を波長分散モニタとして用いる構成を示す図である。

**【図 23】**

従来の動作を説明するための図である。

**【図 24】**

全平均 PMD = 8 ps（すなわち  $0.33 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ ）、100 km × 6 スパンのシステムでの最適分散量の変化の実験結果を示す図である。

**【符号の説明】**

10 送信器

11 伝送路



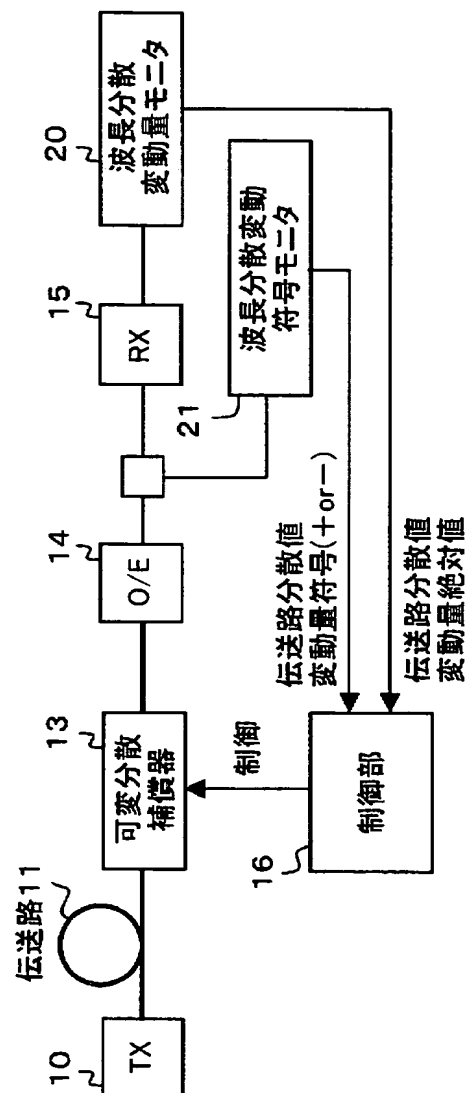
- 1 3 可変分散補償器
- 1 4 光／電気変換器
- 1 5 受信機
- 1 6 制御部
- 2 0 波長分散変動量モニタ
- 2 1 波長分散変動符号モニタ
- 2 5 A L C 制御された光アンプ
- 2 6 イコライザ
- 2 7 クロック及びデータ復元部
- 2 8 ピーク検出回路
- 3 0 F E C 部
- 3 1 モニタ回路
- 3 5 平均出力パワーモニタ

【書類名】

図面

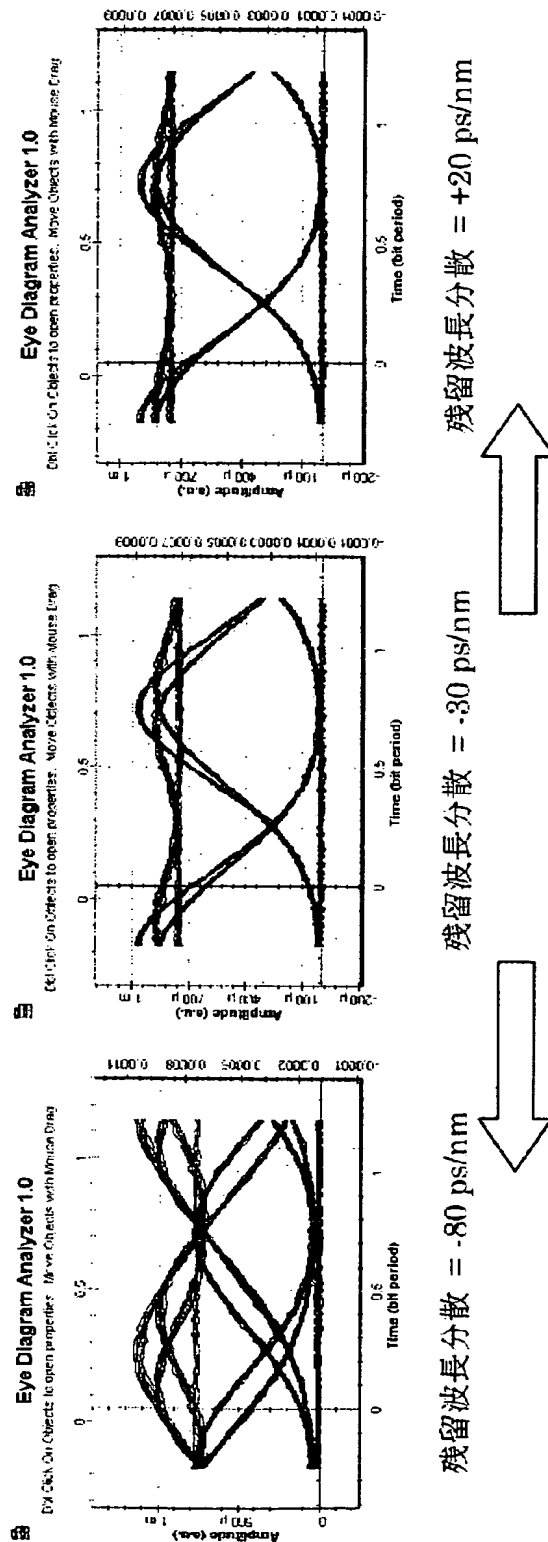
【図 1】

本発明の実施形態に従った  
波長分散補償制御システムの基本構成を示す図



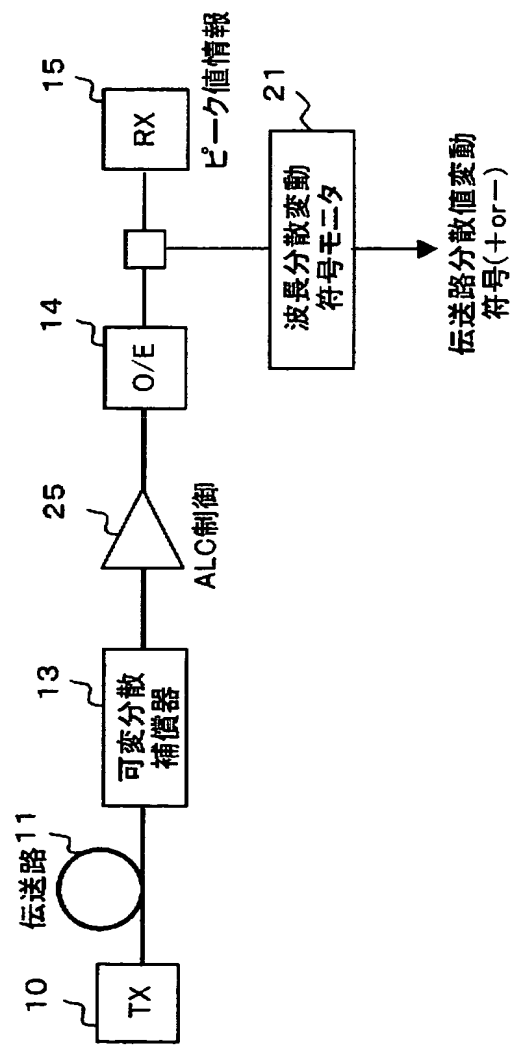
【図 2】

本発明の実施形態による  
波長分散変動符号モニタの基本的な原理を説明する図



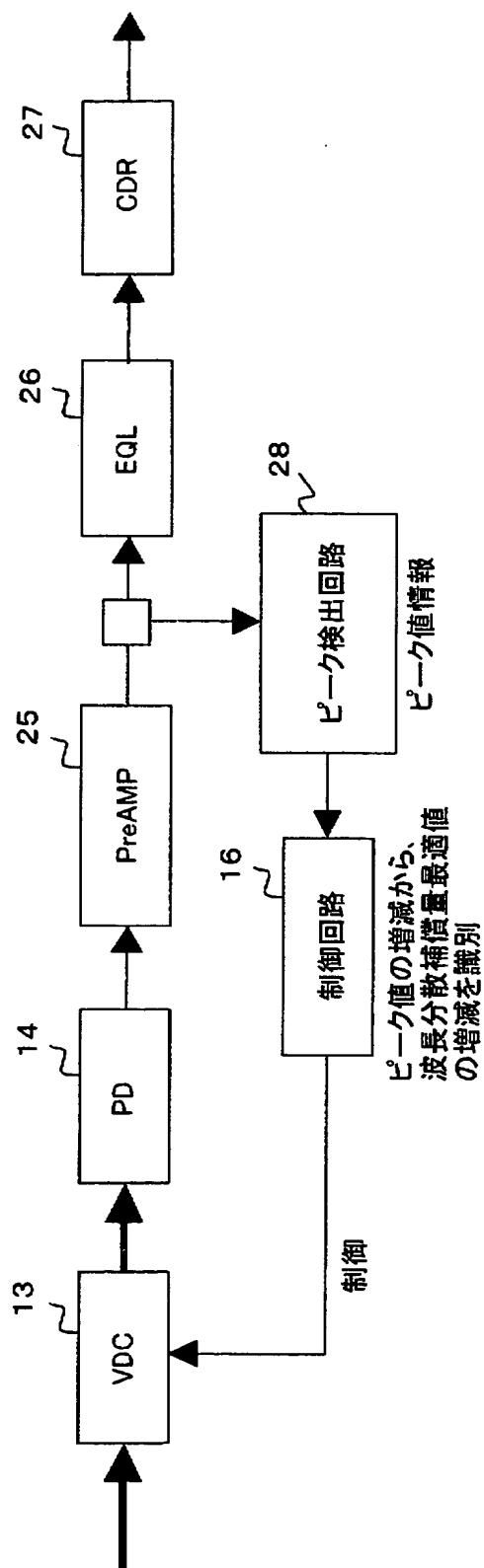
【図 3】

本発明の実施形態の  
要部の基本構成を示す図

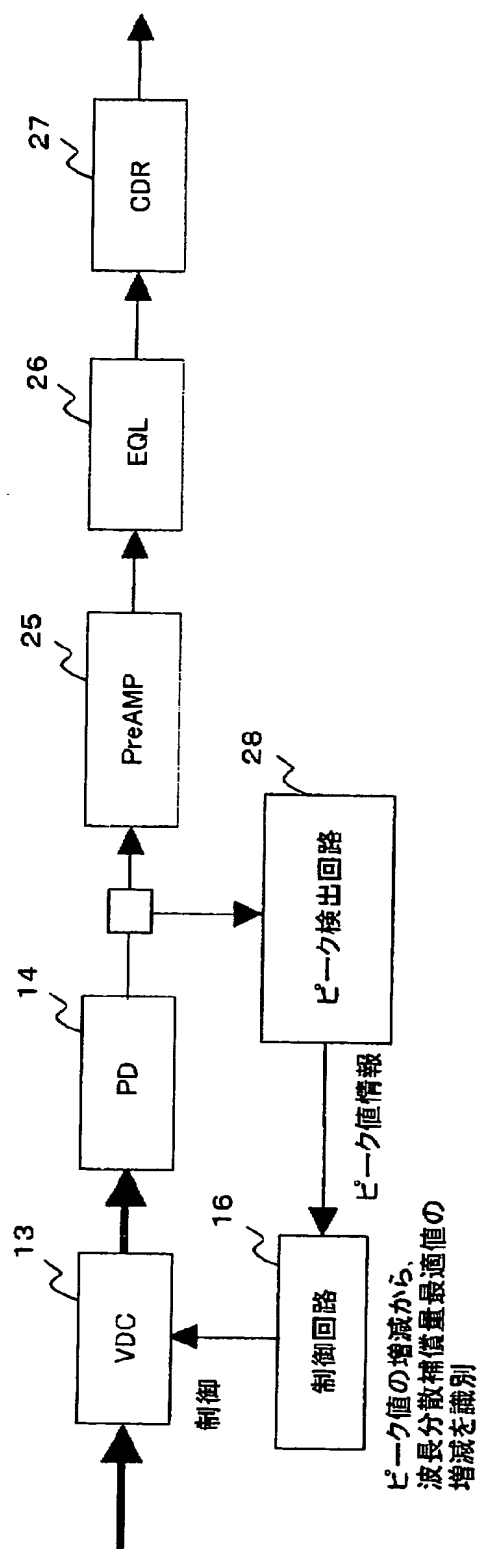


【図 4】

本発明の実施形態に従った受信部の構成を示す図

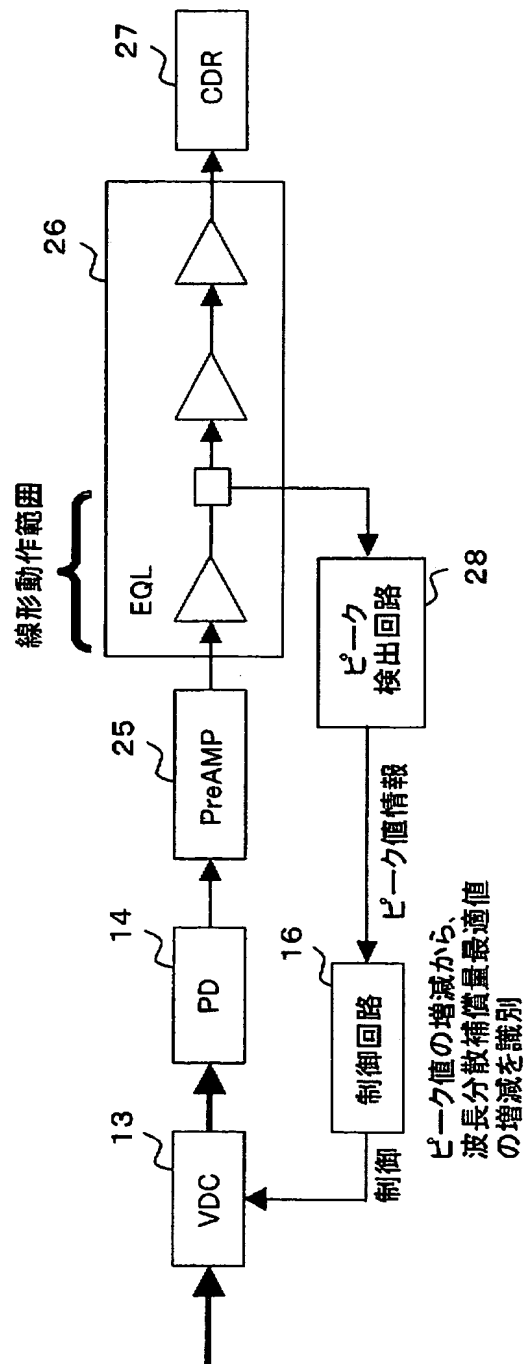


【図 5】

本発明の実施形態に従った  
受信部の別の構成例

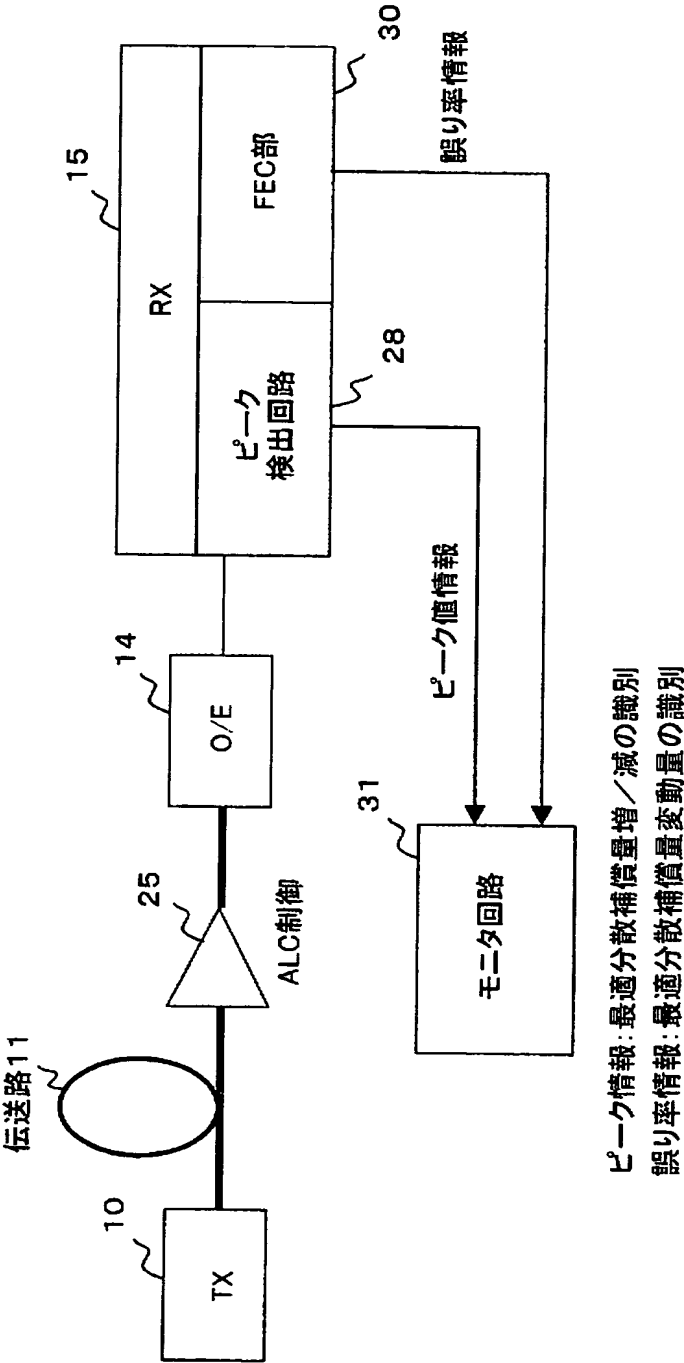
【図 6】

本発明の実施形態に従った  
受信部の更に別の構成例



【図 7】

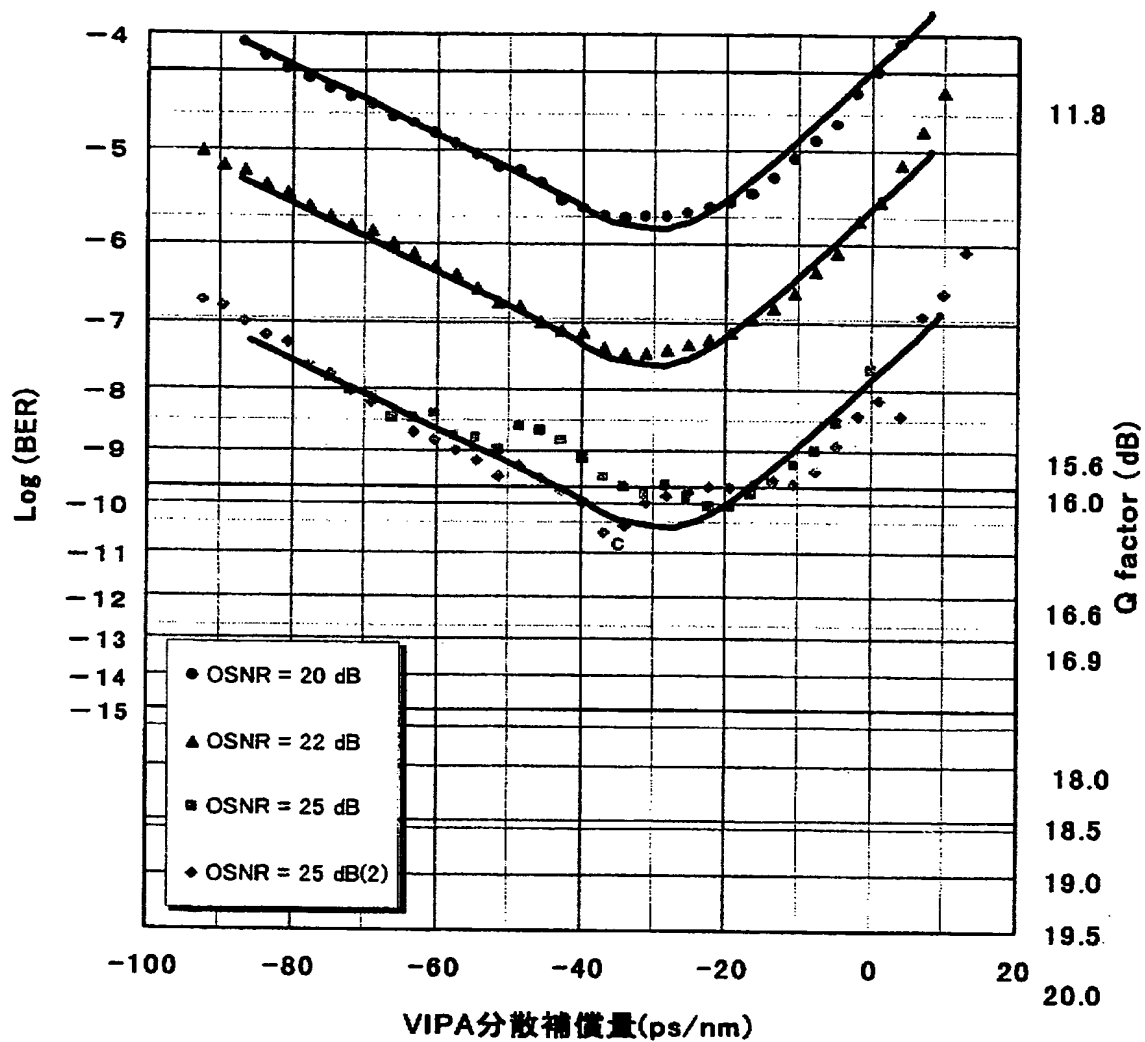
本発明の実施形態に従った  
更に別の構成例を示す図





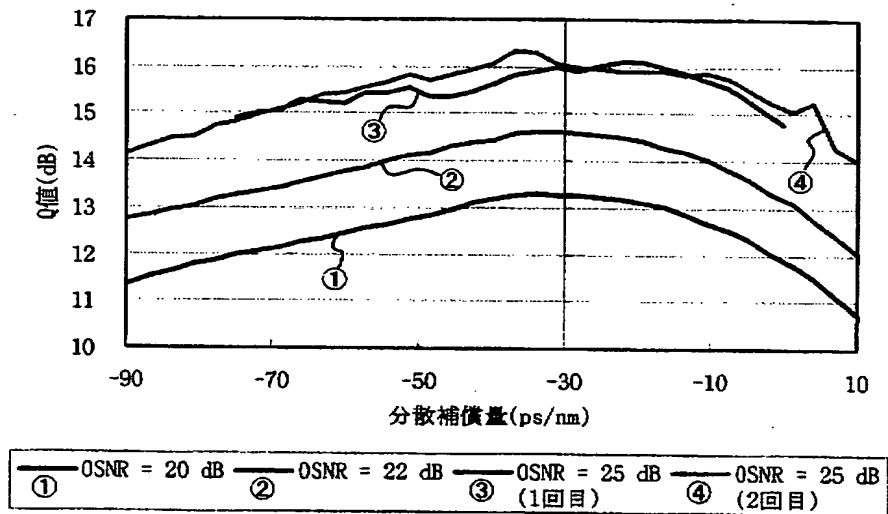
【図 8】

43. 02Gb/s NRZ変調方式で  
各受信OSNRについて可変波長分散補償器を用いて  
波長分散トレランスを測定した例を示す図



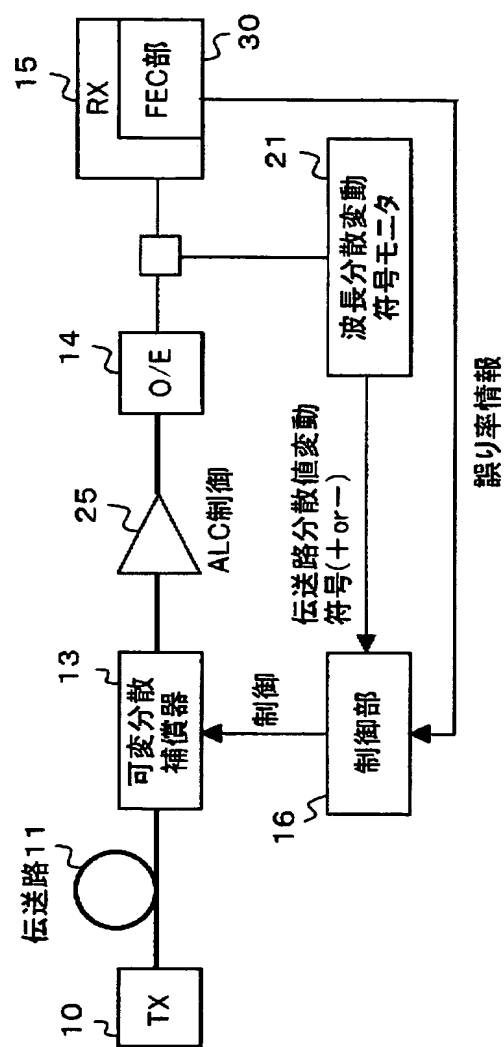
【図 9】

縦軸をQ値に換算した図8に対応する図



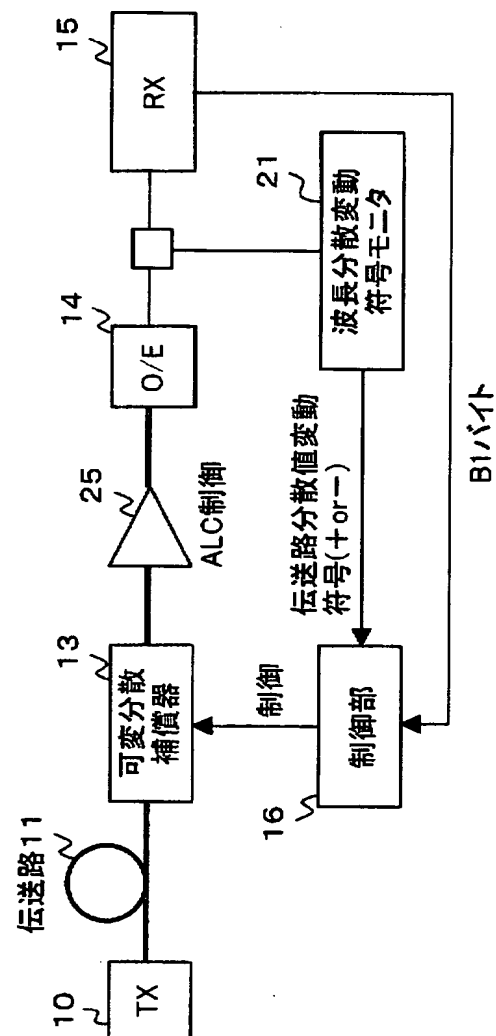
【図 10】

本発明の実施形態に従った  
更に別の構成例(その1)を示す図

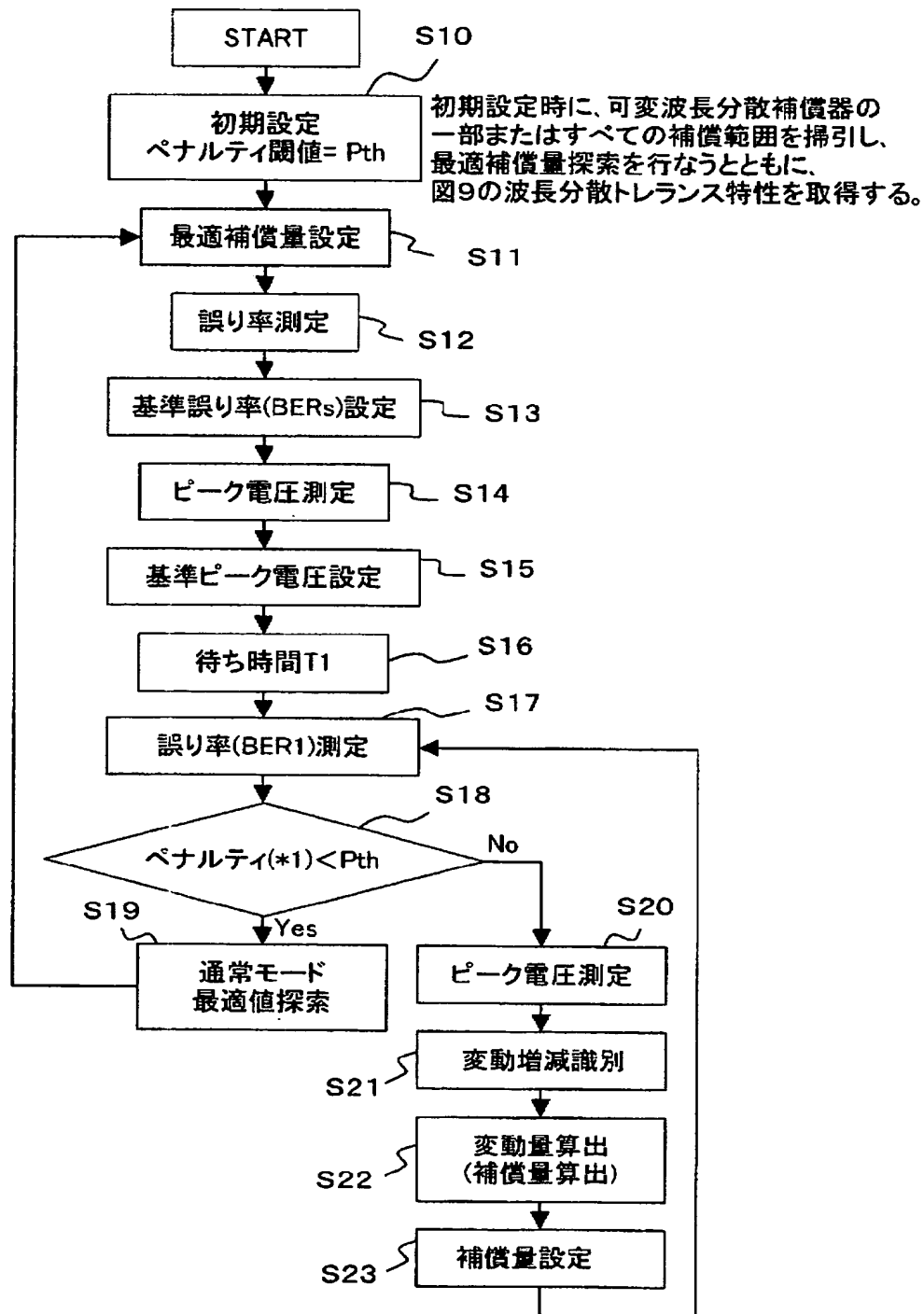


【図 11】

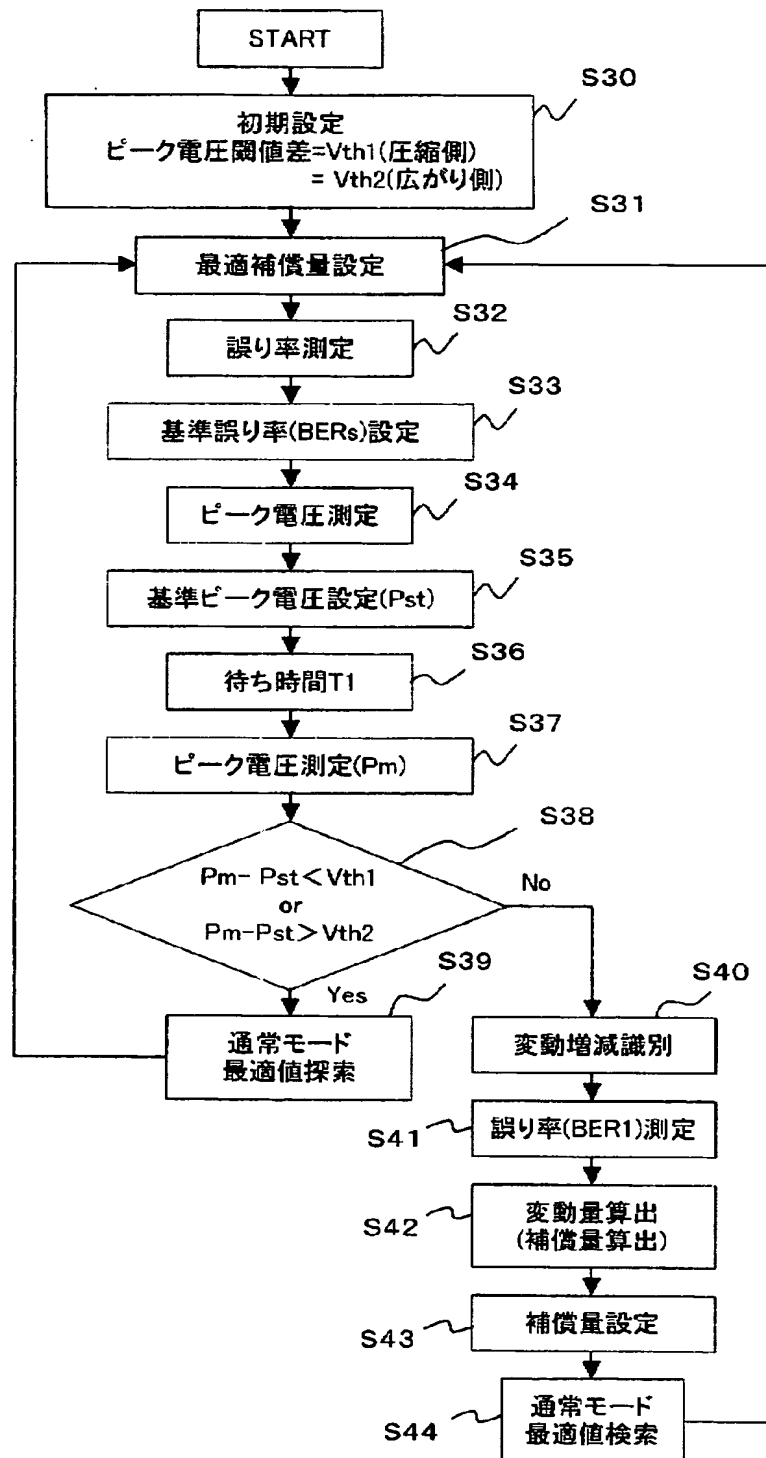
本発明の実施形態に従った  
更に別の構成例(その2)を示す図



【図 12】

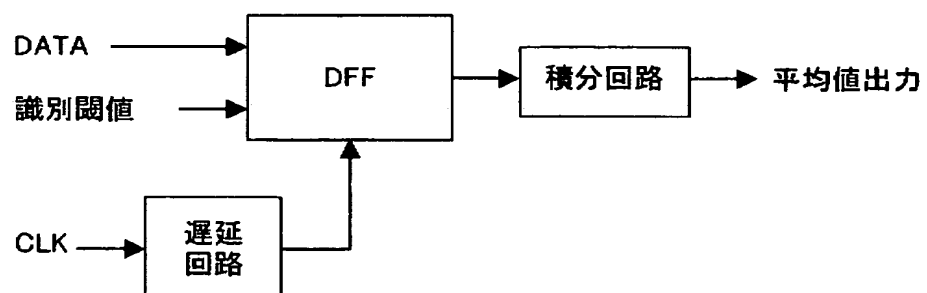
本発明の実施形態に従った  
基本動作のフローチャート(その1)

【図 13】

本発明の実施形態に従った  
基本動作のフローチャート(その2)

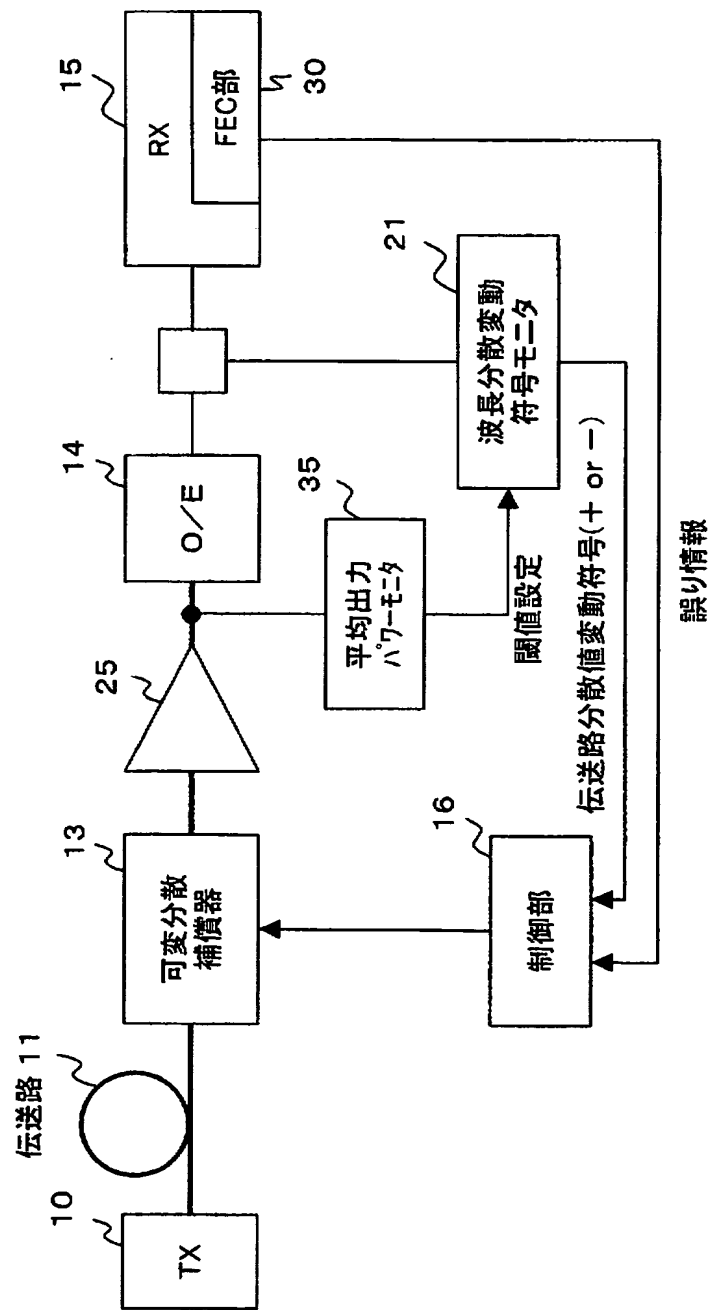
【図 14】

## ピーク検出回路の一構成例を示す図



【図 15】

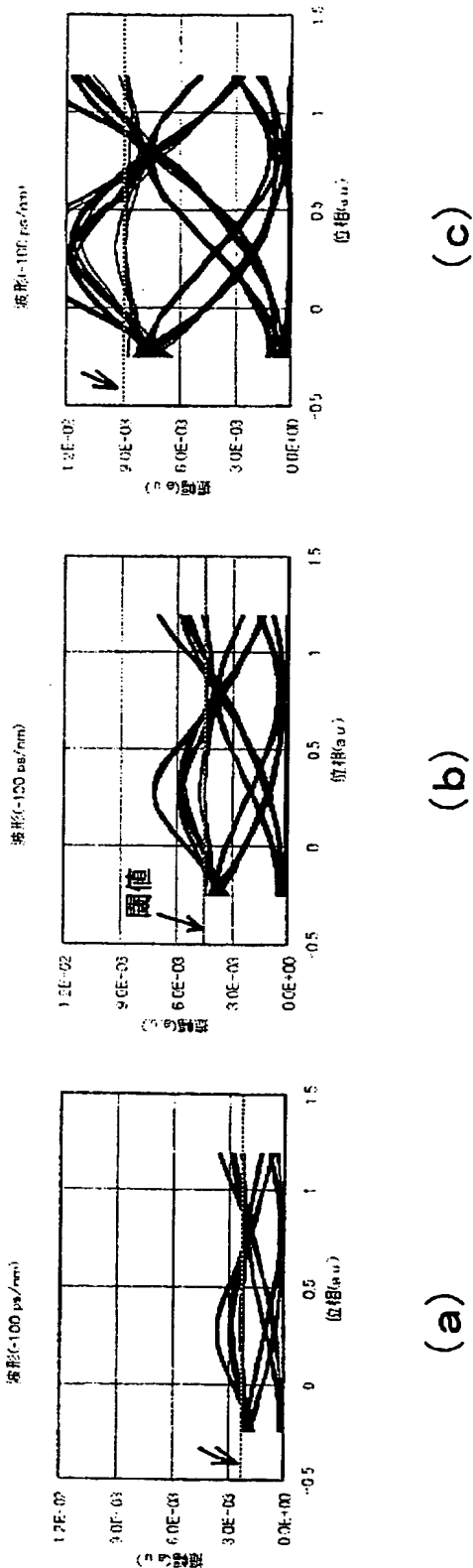
本発明の別の実施形態を示す図(その1)





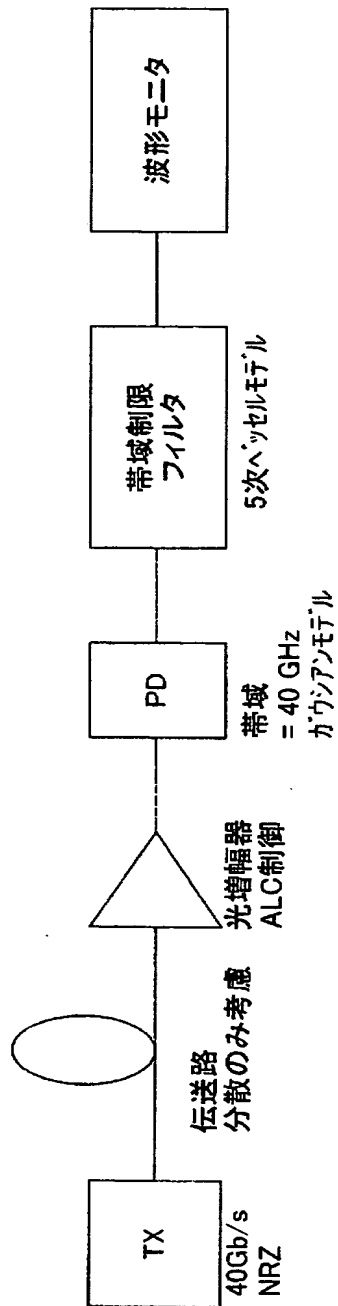
【図 16】

本発明の別の実施形態を示す図(その2)



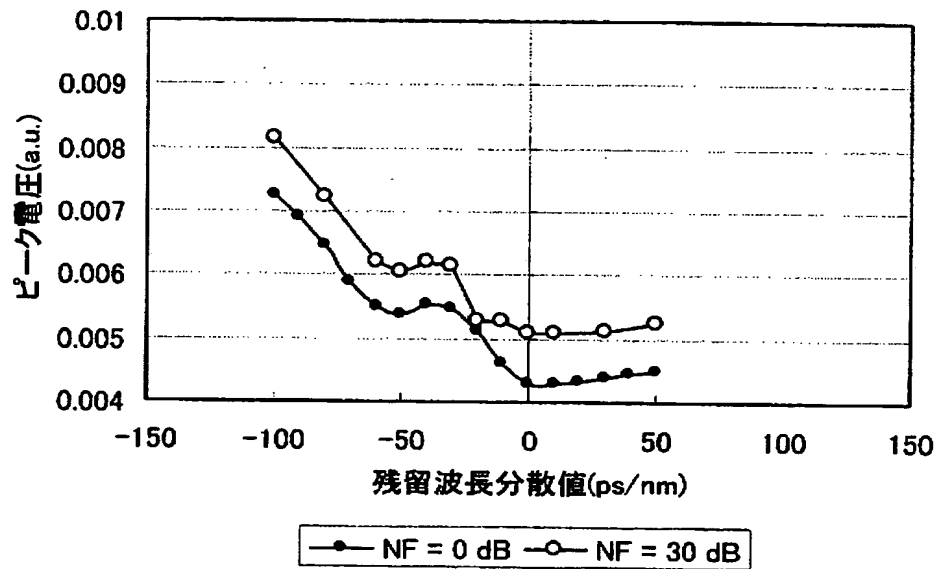
【図 17】

本発明の実施形態の有効性を確認する  
シミュレーションについて説明する図(その1)



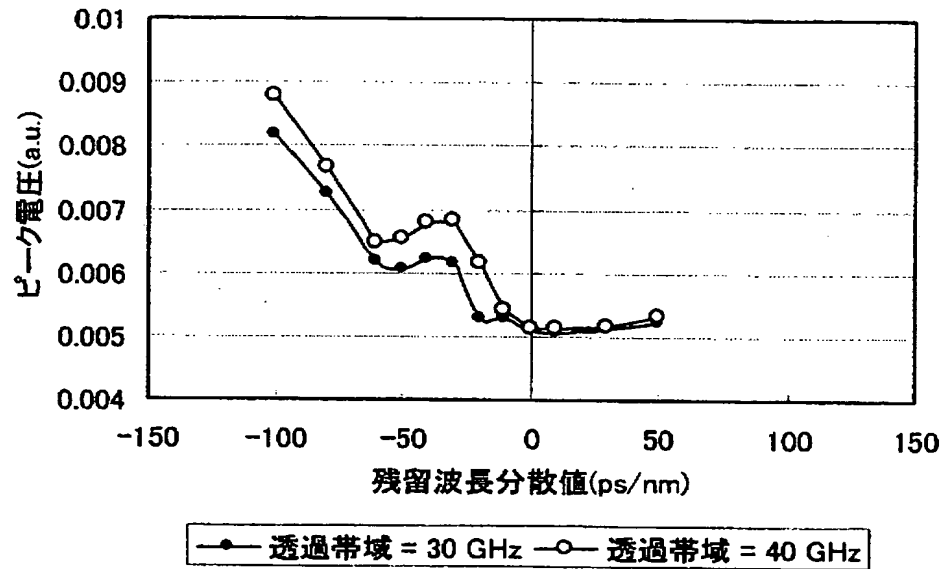
【図 18】

本発明の実施形態の有効性を確認する  
シミュレーションについて説明する図(その2)



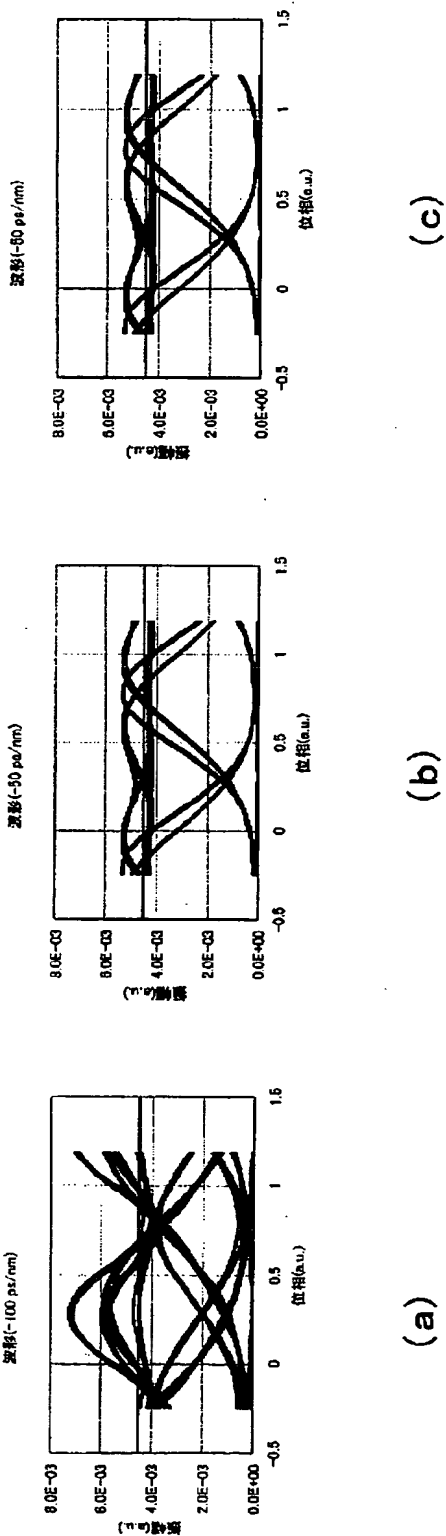
【図 19】

本発明の実施形態の有効性を確認する  
シミュレーションについて説明する図(その3)



【図 20】

本発明の実施形態の有効性を確認する  
シミュレーションについて説明する図(その4)



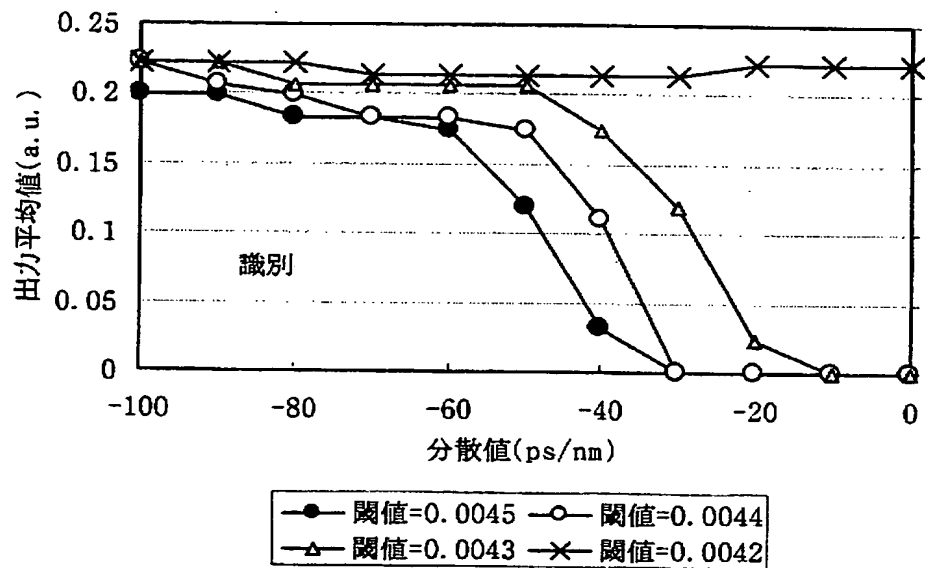
(a)

(b)

(c)

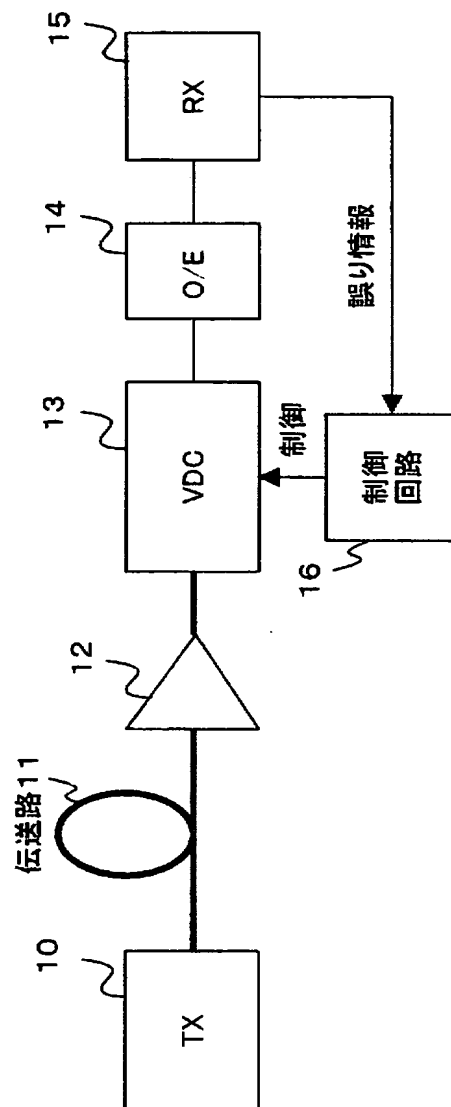
【図 21】

本発明の実施形態の有効性を確認する  
シミュレーションについて説明する図(その5)



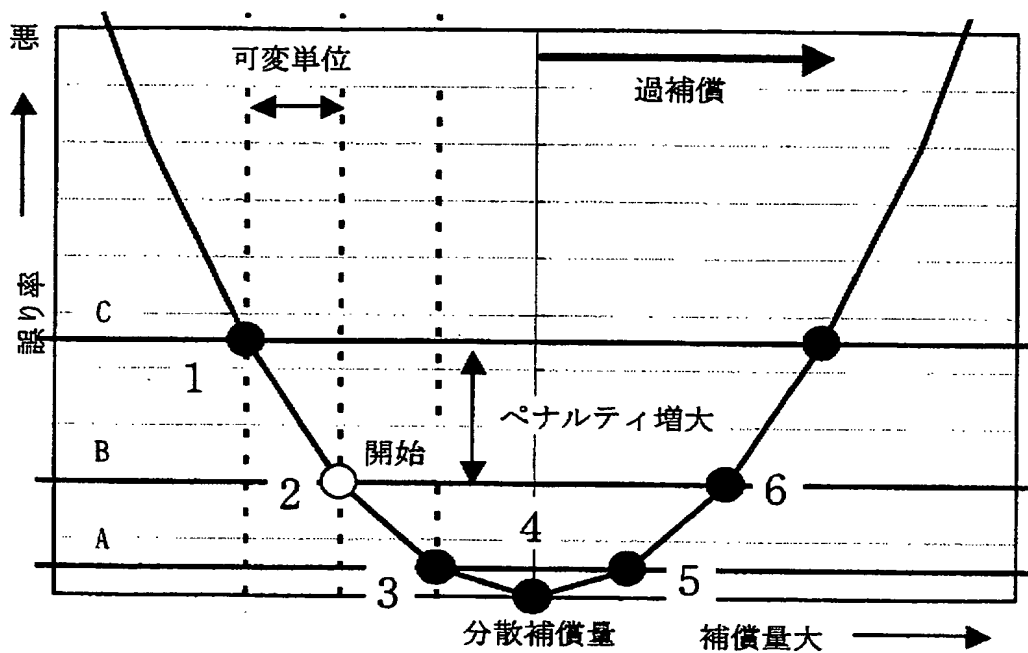
【図 22】

従来の誤り率を  
波長分散モニタとして用いる構成を示す図



【図 23】

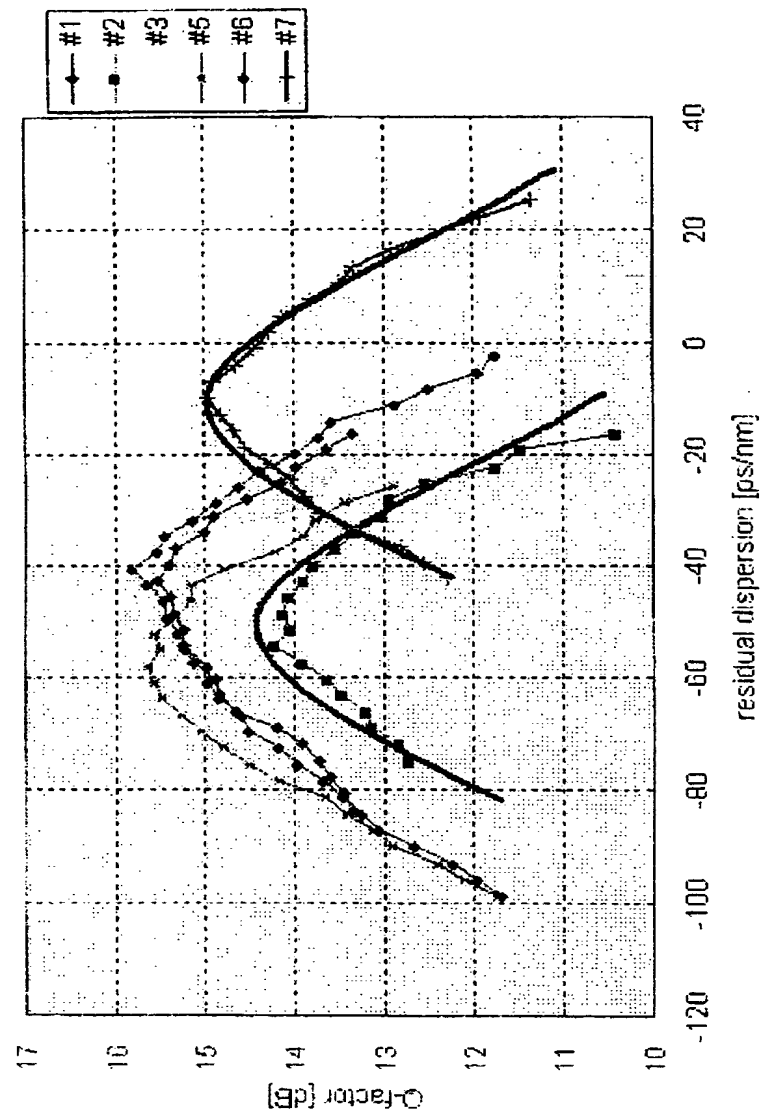
従来の動作を説明するための図





【図 24】

全平均PMD=8ps(すなわち0.33ps/ $\sqrt{\text{km}}$ )、  
100km×6スパンのシステムでの  
最適分散量の変化の実験結果を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速で波長分散量を制御できる波長分散制御システムを提供する。

【解決手段】 送信器 10 から送信され、伝送路 11 を伝搬し、可変分散補償器 13、光／電気変換器 14 を通過した信号は、波長分散変動符号モニタ 21 に入力される。チャープニングパラメータを送信側で正に設定しておく、受信信号のピーク値が大きい場合は、残留波長分散が負の方向に、小さい場合は、正の方向に変動していることが分かるので、急激に波長分散が変化した場合、波長分散変動量モニタ 20 で、どのくらいの波長分散補償を行うかを決定して、制御部が、波長分散変動符号を元に、一気に最適分散補償量に近い値まで波長分散補償量を変化させる。

【選択図】 図 1

特願 2003-095715

出願人履歴情報

識別番号

[000005223]

1. 変更年月日

1996年 3月26日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名

富士通株式会社